

EVALUATION OF FOUR SEMI-PERMEABLE MEMBRANES IN THE  
OSMOTIC TECHNIQUE FOR ESTABLISHING SOIL-WATER RETENTION  
CURVE (SWRC) OF MANSULI CLAY

NURUL SYAFIQAH BT MOHD AZMI

Thesis submitted in fulfillment of the requirements  
for the award of the degree of  
Master of Science

Faculty of Civil Engineering and Earth Resources  
UNIVERSITI MALAYSIA PAHANG

FEBRUARY 2018

## ABSTRAK

Lempung mengembang banyak digunakan dalam pelbagai aplikasi geoteknikal dan geoalam sekitar di kebanyakan negara terutamanya sebagai bahan kambusan dan bahan hadangan di repositori pelupusan sisa radioaktif nuklear peringkat tinggi. Kefahaman terperinci mengenai sifat lempung mengembang tempatan adalah amat penting untuk memastikan prestasi jangka panjang kepada sistem repositori pelupusan sisa di Malaysia. Sedutan dan kandungan air adalah parameter paling penting yang mengawal sifat lempung mengembang. Perubahan dalam kandungan air yang disebabkan oleh perubahan dalam sedutan biasanya diramalkan dengan menubuhkan pengekal tanah-air lengkung (SWRCs). Dalam makmal, teknik osmosis dan teknik keseimbangan wap telah biasa digunakan untuk mengawal sedutan dalam tanah dan untuk menubuhkan SWRCs. Beberapa penyelidik mendedahkan bahawa teknik osmosis telah digunakan secara meluas untuk mengenakan sedutan rendah kurang daripada 1 MPa tetapi kajian untuk sedutan tinggi adalah terbatas. Batasan teknik osmosis di sedutan tinggi dikaitkan dengan intrusi molekul polietilena glikol (PEG) ke dalam specimen lempung kerana kegagalan membran separa bolehterlap dalam menyekat peredaran molekul PEG ke dalam specimen lempung dan menjejaskan penentuan SWRC yang tepat. Dalam kajian ini, ciri-ciri fizikal, kimia, mineralogi dan mikrobiologi lempung mengembang Mansuli tempatan telah ditentukan mengikut prosedur standard. Selain itu, pengeringan dan pembasahan SWRCs telah dibentuk dengan menggunakan teknik osmosis, keseimbangan wap dan cermin-penyaman takat-embun untuk meramalkan sifat lempung Mansuli pada sedutan gunaan daripada 0.06 sehingga 262.75 MPa. Pada sedutan gunaan tinggi, ujian osmosis telah dijalankan dengan menggunakan membran separa bolehterlap poliethersulfona (PES), filem nipis (TF) dan polipiperazina-amida (PPA) untuk menghalang intrusi molekul PEG ke dalam specimen lempung. Prestasi membran separa bolehterlap sebelum dan selepas ujian osmosis telah dikaji menggunakan ujian fluks air, kebolehterlapan dan mikroskopi tenaga atom (AFM). Berdasarkan hasil kajian, lempung Mansuli dikelaskan sebagai lempung dengan keplastikan sangat tinggi (CV) kerana kawasan permukaan spesifik yang tinggi dan kapasiti pertukaran kation yang tinggi. Lempung Mansuli mengandungi vermikulit sebagai mineral utama (36.8%) dan lempung tempatan ini adalah jenis vermikulit yang kaya dengan magnesium dengan purata berpemberat valensi sebanyak dua. Secara keseluruhannya, lima spesies mikrob telah ditemui dalam lempung Mansuli. Intrusi PEG berlaku pada sedutan gunaan tinggi (iaitu di antara sedutan 3 dan 10 MPa) dalam ujian osmosis yang menggunakan membran selulosa asetat (CA) dan kandungan air yang diperolehi daripada ujian osmosis didapati lebih rendah daripada kandungan air yang diperolehi daripada ujian keseimbangan wap. Dua daripada kulat yang dikenalpasti iaitu *Penicillium funiculosum* dan *Hypocrea aureoviridis* dipercayai bertanggungjawab terhadap penguraian membran CA dalam ujian osmosis. Pada akhir kajian, didapati bahawa membran PES mampu untuk mengurangkan kesan intrusi PEG ke dalam specimen lempung pada sedutan tinggi dan kandungan air yang diperolehi daripada ujian osmosis didapati serasi dengan kandungan air yang diperolehi daripada ujian keseimbangan wap. Pengeringan dan pembasahan SWRCs yang lancar dan tepat bagi lempung Mansuli telah dibentuk dengan menggunakan membrane PES. Oleh itu, kajian ini mengatasi batasan teknik osmosis di sedutan tinggi dan ramalan tepat mengenai sifat kejuruteraan lempung tempatan dapat disediakan. Kajian ini juga memberikan maklumat mengenai kemungkinan penggunaan lempung Mansuli sebagai bahan bendungan untuk pembangunan repositori sisa nuklear di Malaysia.

## ABSTRACT

Expansive clays are extensively used for various geotechnical and geoenvironmental applications in many countries especially as the backfilling and barrier materials in high-level radioactive nuclear waste disposal repositories. Detailed understanding of the behaviour of local expansive clay is extremely crucial to ensure the long term performance of the waste disposal repositories system in Malaysia. Suction and water content are the most important parameters that control the behaviour of expansive clay. Changes in water content due to changes in suction are commonly predicted by establishing the soil-water retention curves (SWRCs). In the laboratory, osmotic technique and vapour equilibrium technique were commonly used for controlling suction in the soil and to establish SWRCs. Several researchers revealed that osmotic technique has been widely used for applying lower suction less than 1 MPa but studies for higher suction are limited. The limitation of osmotic technique at higher suction is associated with the intrusion of polyethylene glycol (PEG) molecules into clay specimen due to failure of the semi-permeable membrane in restricting the passage of PEG molecules into clay specimen and affecting the precise determination of SWRCs. In this study, physical, chemical, mineralogical and microbiological properties of local expansive Mansuli clay were determined following the standard procedures. Besides that, drying and wetting SWRCs were established using osmotic, vapour equilibrium and chilled-mirror dew-point techniques to predict the behaviour of Mansuli clay at applied suction of 0.06 to 262.75 MPa. At higher applied suction, the osmotic tests were carried out using polyethersulfone (PES), thin film (TF) and polypiperazine-amide (PPA) semi-permeable membranes in order to prevent the intrusion of PEG molecules into clay specimen. The performance of semi-permeable membranes before and after osmotic tests was investigated using water flux test, permeability test and Atomic Force Microscopy (AFM). Based on the findings, Mansuli clay is classified as clay with very high plasticity (CV) due to high specific surface area and cation exchange capacity. Mansuli clay contains vermiculite as the main mineral (36.8%) and this local clay is magnesium-rich type vermiculite with weighted average valency of about two. In total, five species of microbes were found within Mansuli clay. The PEG intrusion occurred at higher applied suction (i.e. suctions between 3 and 10 MPa) in osmotic test using cellulose acetate (CA) membrane and the water contents obtained from osmotic test were found to be lower than water contents obtained from vapour equilibrium test. Two of the fungus identified namely *Penicillium funiculosum* and *Hypocrea aureoviridis* were believed to be accountable for degradation of CA membrane in osmotic test. At the end of the research, it was found that PES membrane was able to minimise the effect of PEG intrusion into clay specimen at higher suction and the water contents obtained from osmotic test were found to be in good agreement with that obtained from vapour equilibrium test. Smooth and precise drying and wetting SWRCs of Mansuli clay were established using PES membrane. Thus, this study overcomes the limitation of osmotic technique at higher suction and a better prediction of engineering behaviour of local clay can be provided. This study also provides information for possible use of Mansuli clay as barrier material for the development of Malaysia nuclear waste repositories.